Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras

Vol. 25, 2, 115-145 (2020)

TWO NUMERICAL MODELS OF SISMICAL STRUCTURE ANALYSIS WITH LINK ELEMENTS

Roberto Aguiar [1,2], Jorge Romero [2], Carlos Frau [3], Daniel Quiroga [4]

(1) Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos.
(2) Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos: jiromerolol16@gmail.com
(3) Facultad de Ingeniería. Universidad Tecnológica Nacional de Mendoza. cdfrau@frm.utn.edu.ar
(4) Facultad de Ingeniería. Universidad Tecnológica Nacional de Mendoza. edquiroga@icloud.com

Received: December 2019. Accepted: February 2020

ABSTRACT

The structure analyzed is presented by means of link elements with the built-in support condition, and the second model with the link element supported - supported. For this, the considerations are shown when having this type of support, in the calculation of the lateral stiffness matrix of the structure and for the calculation of the forces in the elements. Some new functions of CIENCI-LAB are indicated for different conditions of support.

Keywords: CEINCI-LAB computer system, link element, articulated elements

DOS MODELOS NUMÉRICOS DE ANÁLISIS SÍSMICO DE ESTRUCTURAS CON ELEMENTOS DE ENLACE

RESUMEN

Se presenta la estructura analizada mediante elementos de enlace con la condición de apoyo empotrado – empotrado, y el segundo modelo con el elemento de enlace apoyado – apoyado. Para esto se muestra las consideraciones al tener este tipo de apoyos, en el cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura y para el cálculo de las fuerzas en los elementos. Se indican algunas nuevas funciones de ***CIENCI-LAB*** para diferentes condiciones de apoyo en elementos.

Palabras Claves: Sistema de computación ***CEINCI-LAB,*** elemento de enlace, elementos articulados

1. INTRODUCCIÓN

En estructuras con pórticos arriostrados excéntricamente se crean vigas cortas, llamados links o elementos de enlace. Estos elementos de enlace funcionan como “fusibles estructurales” por su capacidad de disipar energía por fluencia del acero (Crisafulli, 2018)

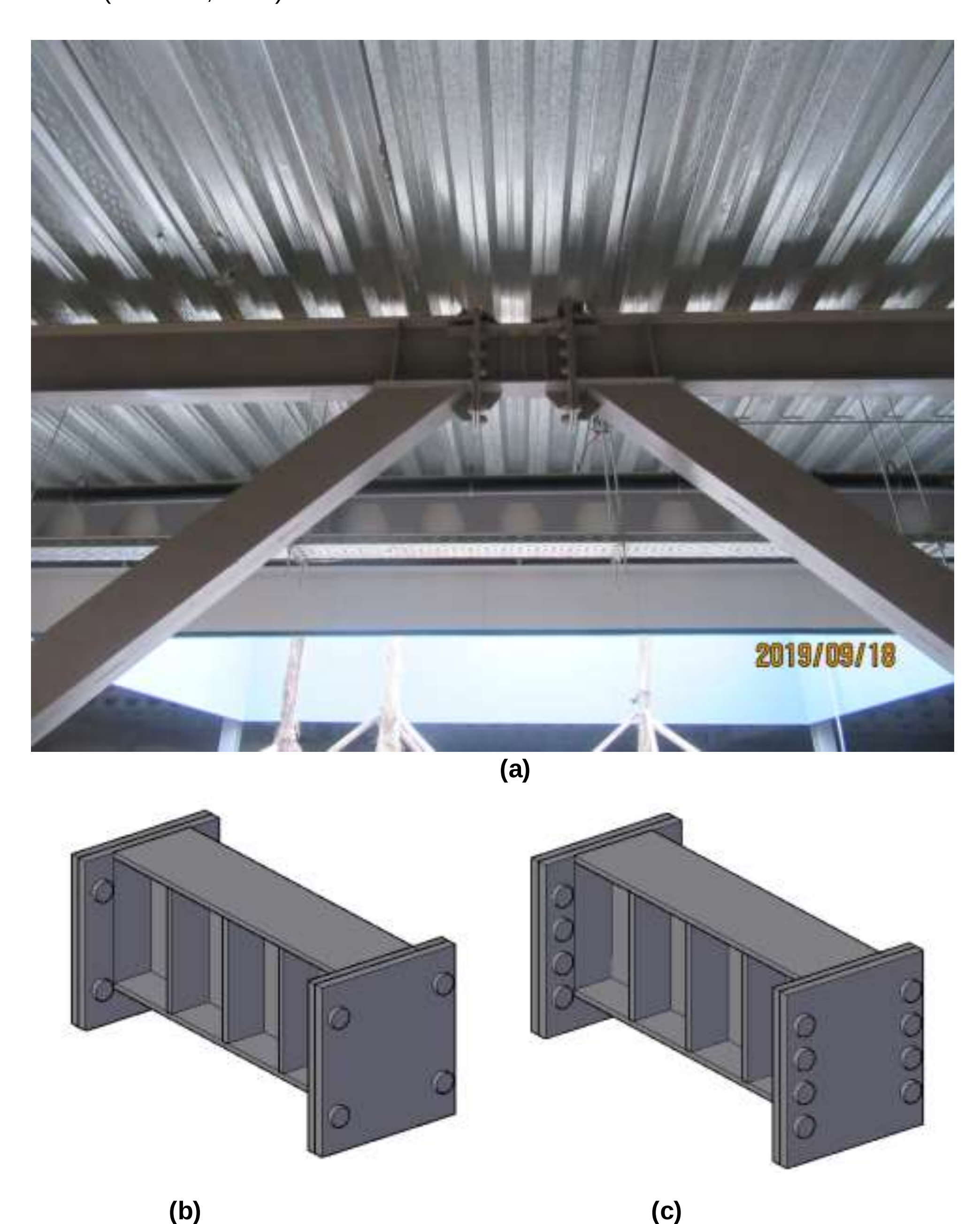


Figura 1 Pórticos arriostrados excentricamente generando elemento de enlace; a) Estructura; b) Elemento de Enlace trabaja articulado-articulado; c) Elemento de enlace trabaja en forma contínua con la viga.

En la figura 1 a, se observan dos diagonales excéntricas, el elemento de enlace, unido al resto de la estructura con dos placas a cada lado, las mismas que tienen una gran cantidad de pernos que permite que el enlace sea considerado como parte de una viga continua.

De lo indicado en el párrafo anterior se desprende que la forma de la conexión del elemento de enlace con el resto de la viga define el modelo de cálculo. Sí se utilizan pocos pernos en las placas, el elemento de enlace va a trabajar artículado-articulado (Caso de figura 1 b) en este caso el elemento trabaja a compresión y no puede trabajar como un disipador de energía.

Por el otro lado, si se coloca una buena cantidad de pernos en las placas (Ver figura 1 c) esto hace que el enlace sea parte de la viga contínua y en el elemento se van a generar fuerzas de corte y de flexión que permiten que el elemento pueda trabajar como disipador de energía.

En estructuras con disipadores de energía, los elementos adyacentes al disipador deben trabajar en el rango elástico y solo el disipador va a incursionar en el rango inelástico para disipar energía por fluencia del material. Aguiar *et al.* (2016). Por lo tanto, se debe verificar que todos los elementos de la figura 1 a, trabajen en el rango elástico a excepción del elemento de enlace.



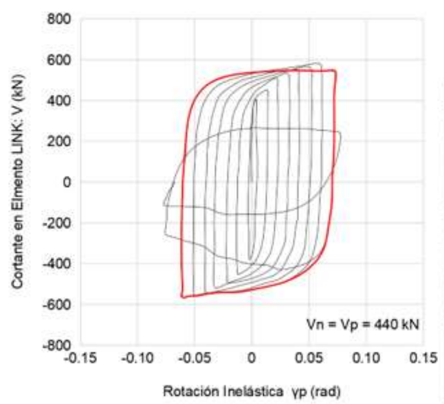
Figura 1 d) Elemento de enlace. Nótese que debajo del enlace se tiene una placa vertical y también tiene pernos.

Por cierto, el enlace de la figura 1 a, tiene 5 pernos a cada lado, de tal forma que hay 10 pernos para unir una placa al resto de la estructura, esto le garantiza que va a trabajar en forma contínua con la viga. Se aprecia también en esta fotografía que el enlace tiene rigidizadores verticales. En cambio, el elemento de enlace de la figura 1 d, no tiene rigidizadores verticales.

Los dos modelos de cálculo, con los que se realiza el análisis sísmico, en este artículo son: i) Elemento de enlace trabaja articulado-articulado (Caso de figura 1 b) y ii) Elemento de enlace trabaja como un todo con la viga; esto significa que el giro en la unión del elemento de enlace con la viga es el mismo; cuando trabaja articulado-articulado el giro es diferente.

Pero antes es importante presentar ensayos de laboratorio de los elementos de enlace realizados por Okazaki *et al.* (2004) y acopiados por Crisafulli (2018). En la figura 1 e, se aprecia a la izquierda la curva de histéresis obtenida al ensayar el enlace corto, reforzado con placas verticales, que se muestra a la derecha, se aprecia una gran cantidad de pernos en la unión de las placas, luego se trata de un elemento capaz de disipar energía y al ser de longitud corta, trabaja al corte.

En la fotografía de la derecha de la figura 1 e, se aprecia que la falla del elemento es por corte (el lado izquierdo sube y el lado derecho baja) Por otra parte el alma del perfil se ha dañado y una de sus placas se encuentra rota, de esta forma es que se tiene la disipación de energía.



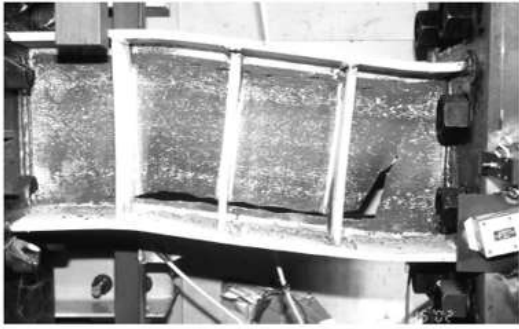


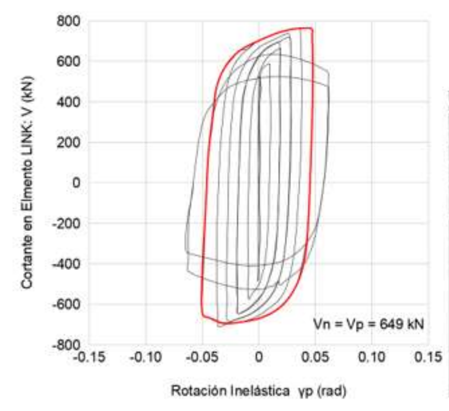
Figura 1 e) Ensayo de un elemento de enlace corto; a la izquierda curva de histéresis y a la derecha estado en el que quedó el elemento luego de varios ciclos de carga de hasta 0.075 rad. Okazaki *et al.* (2004)

Al observar la fotografía que muestra el estado en que quedó el elemento de enlace, se ve lo siguiente: i) En las placas extremas, la rotación del elemento de enlace es baja, luego el modelo de cálculo que considera un solo giro para la unión del enlace con el resto de la viga es adecuado; ii) Para calcular la rigidez del elemento de enlace se lo puede hacer con un modelo de un pórtico cuyos elementos verticales son las placas rigidizadoras y los elementos horizontales son las alas del perfil. En este pórtico únicamente las placas exteriores del enlace, se puede considerar que se encuentran empotrados, en los demás nudos se tiene tres grados de libertad.

Se obtuvo el factor de amortiguamiento ξ en base a la curva de histéresis de la figura 1 e, con la hipótesis de que es amortiguamiento viscoso y se determinó lo siguiente:

$$\xi = \frac{E_D}{4\pi E_E} = \frac{131.533\ (kN * rad)}{4\pi * 19.765\ (kN * rad)} = 0.53$$

Donde E_D es la energía disipada (área interior de un ciclo de histéresis); E_E es la energía elástica. El factor de amortiguamiento obtenido es alto y esto es bueno ya que se puede conferir a una estructura de amortiguamiento a un costo bajo, por lo que vale la pena seguir investigando al respecto.



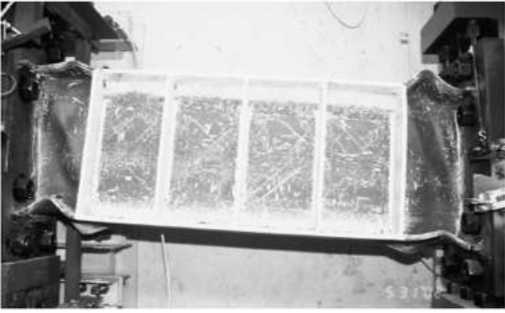


Figura 1 f) Ensayo de un elemento de enlace largo; a la izquierda curva constituvia obtenida y a la derecha estado en que quedó el elemento luego de varios ciclos de carga llegando a una deformación de 0.06 rad. Okazaki *et al.* (2004).

Además de la conexión del elemento de enlace con el resto de la estructura, hay que tomar en cuenta a las placas rigidizadoras en el alma del enlace. Estas son necesarias para evitar el pandeo del alma. Estas placas rigidizadoras se las puede colocar en las dos caras del elemento de enlace, o en una sola cara. En la Figura 1d, las placas rigidizadoras en el alma están colocadas en el lado posterior, por lo que no se evidencia en la fotografía.

2. MATRIZ DE RIGIDEZ DE CADA ELEMENTO

El cálculo de la matriz de rigidez presentado en (Aguiar Falconí, 2014) corresponde a las condiciones empotrado – empotrado. Cuando se presenta articulaciones en la estructura, o se necesita que el elemento tenga alguna articulación, las condiciones de apoyo en la estructura cambian, en consecuencia, también cambia la matriz de rigidez de este elemento. A continuación, se presentan los distintos tipos de casos cuando se tiene elementos con diferentes condiciones de borde.

En la Figura 2 se presenta a un elemento de la estructura con 3 grados de libertad, dos deformaciones a flexión en el nudo inicial y final, y una deformación axial en el nudo final. Según lo indicado en (Aguiar Falconí, 2014), la matriz de rigidez para este modelo es:

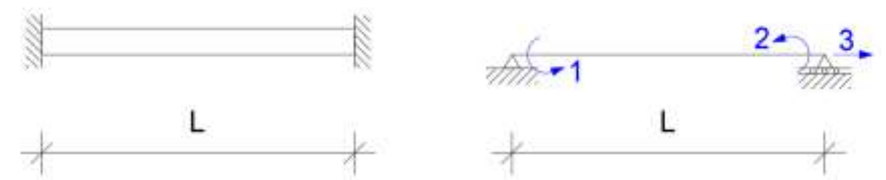


Figura 2 Modelo de un elemento empotrado – empotrado

$$f = \begin{bmatrix} \frac{L}{3EI}(1+\phi) & -\frac{L}{6EI}(1-2\phi) & 0 \\ -\frac{L}{6EI}(1-2\phi) & \frac{L}{3EI}(1+\phi) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L}{EA} \end{bmatrix}$$

Esta matriz de flexibilidad está calculada para un elemento de sección constante considerando los efectos del corte, al considerar $\phi = 0$, y encontrar la matriz de rigidez de este elemento se obtiene la siguiente matriz de rigidez

$$k = f^{-1}$$

$$k = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} & 0 \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{EA}{L} \end{bmatrix}$$

Para pasar este sistema al sistema de 3 grados de libertad por elemento a uno con 6 grados de libertad por elemento, se utiliza la matriz T_{1-2}:

$$T_{1-2} = \begin{bmatrix} 0 & 1/L & 1 & 0 & -1/L & 0 \\ 0 & 1/L & 0 & 0 & -1/L & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Existen casos en que se presenta alguna articulación en la estructura, resultando en que no se pueda modelar estos elementos con el modelo empotrado – empotrado. Para esto se necesita deducir las nuevas matrices de rigidez para este tipo de apoyos.

En la Figura 3 se presenta el modelo empotrado – articulado, de la misma forma se parte de la matriz de flexibilidad para un elemento con 3 grados de libertad por elemento, y se elimina la columna correspondiente al grado de libertad inexistente.

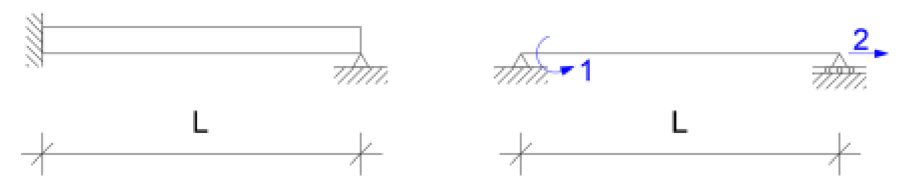


Figura 3 Modelo de un elemento empotrado - articulado

$$f=\begin{bmatrix}\frac{L}{3EI}(1+\phi) & -\frac{L}{6EI}(1-2\phi) & 0\\ \frac{L}{6EI}(1-2\phi) & \frac{L}{3EI}(1+\phi) & 0\\ 0 & 0 & \frac{L}{EA}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\frac{L}{3EI}(1+\phi) & 0\\ 0 & \frac{L}{EA}\end{bmatrix}$$

De la misma forma que el caso anterior, para encontrar la matriz de rigidez se va considerar $\phi=0$.

$$k=f^{-1}$$

$$k=\begin{bmatrix}\frac{3EI}{L} & 0\\ 0 & \frac{EA}{L}\end{bmatrix}$$

Así mismo para encontrar la matriz T_{1-2} para un elemento con este tipo de apoyos, se puede partir de la matriz T_{1-2} para elementos con 3 grados de libertad, y se elimina la fila del grado de libertad que no corresponda. En este caso hay que tener en cuenta que la matriz T_{1-2} para este tipo de condiciones de apoyo depende mucho en que posición se encuentre la articulacón, teniendo:

- Modelo empotrado – articulado

$$T_{1-2}=\begin{bmatrix}0 & 1/L & 1 & 0 & -1/L & 0\\ 0 & 1/L & 0 & 0 & -1/L & 1\\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$T_{1-2}=\begin{bmatrix}0 & 1/L & 1 & 0 & -1/L & 0\\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

- Modelo articulado – empotrado

$$T_{1-2}=\begin{bmatrix}0 & 1/L & 1 & 0 & -1/L & 0\\ 0 & 1/L & 0 & 0 & -1/L & 1\\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

$$T_{1-2}=\begin{bmatrix}0 & 1/L & 0 & 0 & -1/L & 1\\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0\end{bmatrix}$$

Otro modelo que se puede presentar cuando se tenga una articulación en una estructura es el modelo articulado – articulado mostrado en la Figura 4, el

elemento de enlace en la estructura analizada para el presente artículo considera en una de sus estructuras a los elementos de enlace como articulados en sus extremos.

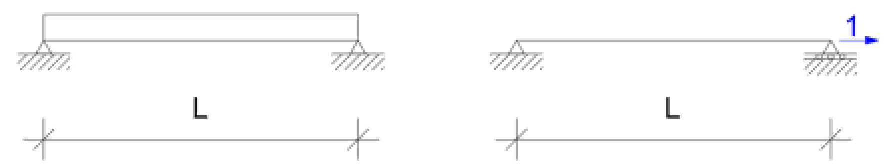
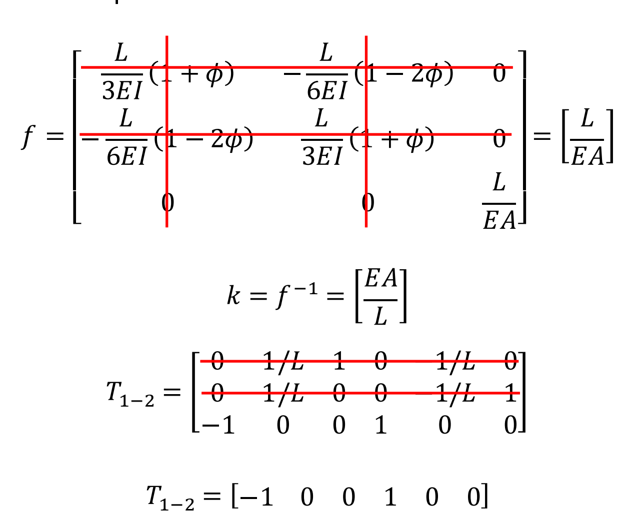


Figura 4 Modelo de un elemento articulado – articulado

De la misma forma que para los modelos anteriores, éste también puede deducirse a partir de la matriz de flexibilidad y la matriz T_{1-2} utilizadas para un elemento con 3 grados de libertad, y eliminando las filas y columnas de los grados de liberad que no correspondan.



$$f = \begin{bmatrix} \frac{L}{3EI}(1+\phi) & -\frac{L}{6EI}(1-2\phi) & 0 \\ -\frac{L}{6EI}(1-2\phi) & \frac{L}{3EI}(1+\phi) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L}{EA} \end{bmatrix} = \left[\frac{L}{EA}\right]$$

$$k = f^{-1} = \left[\frac{EA}{L}\right]$$

$$T_{1-2} = \begin{bmatrix} 0 & 1/L & 1 & 0 & 1/L & 0 \\ 0 & 1/L & 0 & 0 & 1/L & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$T_{1-2} = [-1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0]$$

3. GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA

En el problema a analizar se compara las fuerzas obtenidas en los elementos de una estructura mediante el uso de CEINCI-LAB. El primer modelo se presenta con elementos de enlace articulados y la segunda estructura tiene elementos de enlace apoyados. Cabe mencionar que los elementos de enlace es el segmento de viga que se genera al reforzar una estructura con diagonales excéntricas.

La estructura del ejemplo está compuesta por 3 pisos y 4 pórticos en cada dirección, los pórticos exteriores están reforzadas mediante diagonales excéntricas creando un elemento de enlace como se muestra en las siguientes figuras.

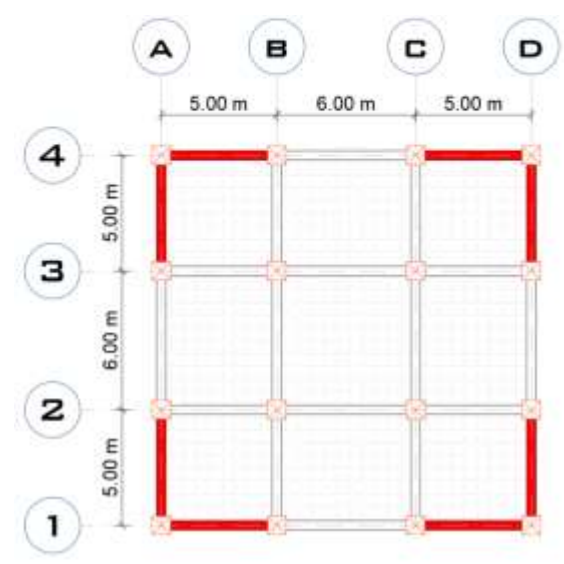


Figura 5 Vista en planta de la estructura.

Esta estructura presenta una sección W460/52 para columnas y vigas, una sección W200/26.6 para los elementos de enlace, y una sección TC300/15 para las diagonales. Estas secciones son mostradas en la Figura 6.

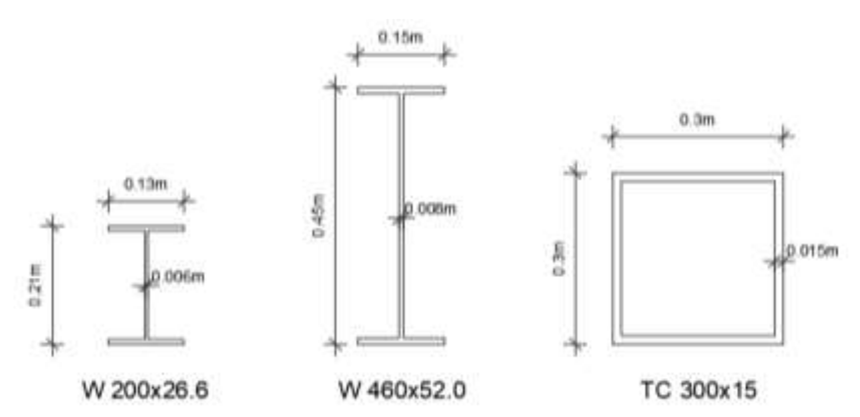


Figura 6 Secciones usadas en la estructura

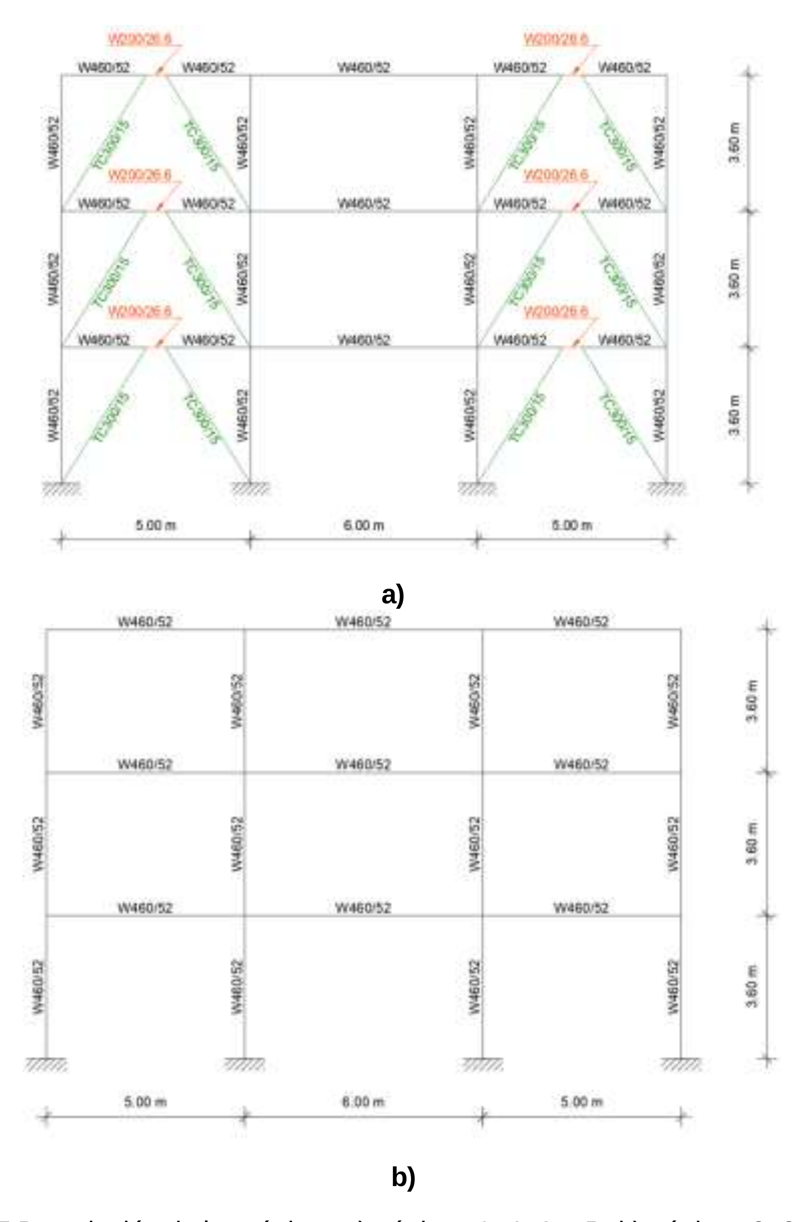


Figura 7 Descripción de los pórticos a) pórticos 1, 4, A y B; b) pórticos 2, 3, C y D

4. MODELO CON ELEMENTO DE ENLACE ARTICULADO.

Para poder realizar el análisis de una forma ordenada se numera los elementos de acuerdo al siguiente orden: columnas, vigas, diagonales, elementos de enlace. Estos se muestran en la Figura 8a.

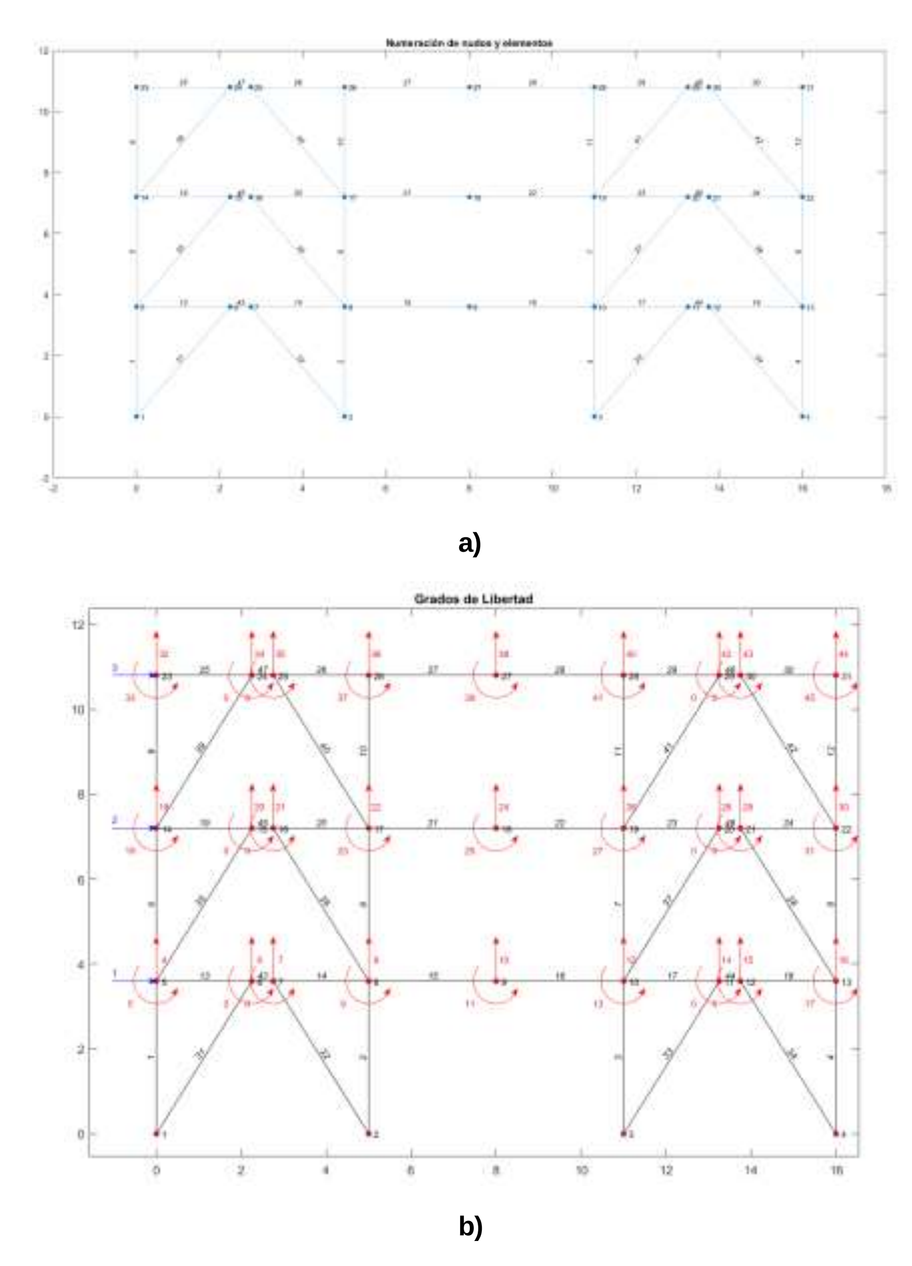


Figura 8 Pórtico con elementos de enlace articulados - articulados a) Numeración de nudos y elementos; b) Numeración de grados de libertad

Como se observa en la Figura 8b, los grados de libertad correspondientes al momento entre la unión del elemento de enlace y la estructura es 0. Esto representa la articulación en ese punto.

Para el sismo se colocó una fuerza distribuida en toda el área de cada piso de 1 t/m². Se usó el espectro de la NEC-15 con un factor de amortiguamiento de 0.05 y R de 5.

Los valores de las derivas y desplazamientos obtenidos se los representa en la Figura 9.

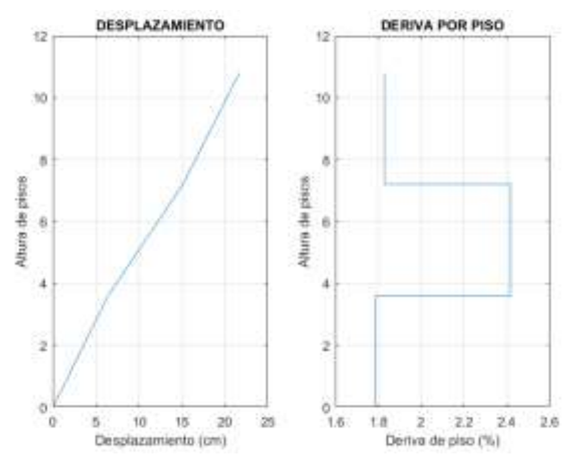


Figura 9 Derivas y desplazamientos para un pórtico con elementos de enlace articulado-articulado

Con estos desplazamientos se puede encontrar la carga sísmica transmitida a la estructura, esto depende de la rigidez lateral de cada pórtico. Al tener una estructura igual en los dos sentidos se presentan las fuerzas transmitidas a los pórticos en X.

$$P = pórticos\begin{cases} \overbrace{\begin{matrix} 4.84 & 10.47 & 4.72 \\ 3.19 & 6.72 & 20.44 \\ 3.19 & 6.72 & 20.44 \\ 4.83 & 10.47 & 4.72 \end{matrix}}^{pisos} \end{cases}$$

Para esto se tiene la siguiente distribución de fuerzas en los pórticos que tienen elementos de enlace de la siguiente forma:

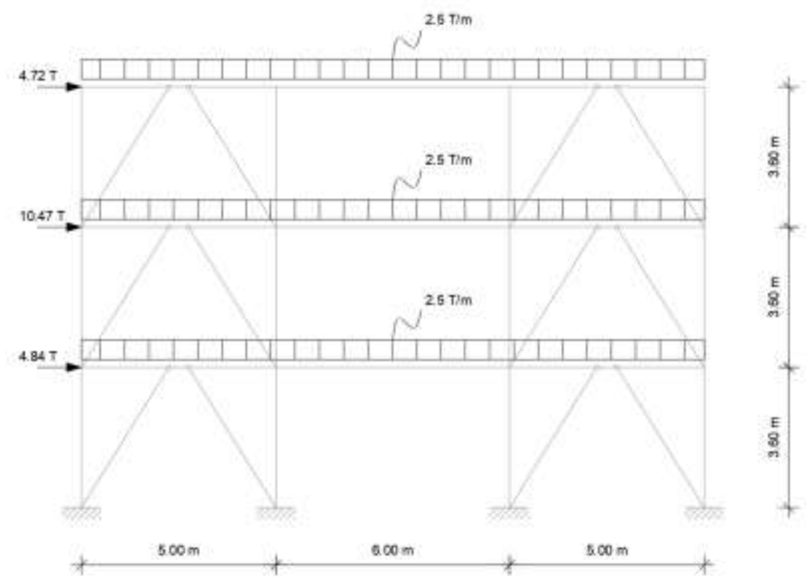


Figura 10 Cargas aplicados a los pórticos exteriores

Con estas cargas, y siguiendo la numeración de los elementos se tiene la siguiente distribución de las fuerzas.

- Fuerzas en columnas y vigas

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
COLUMNA	1	13.15	4.88	14.56	-13.15	-4.88	3.02
	2	25.46	5.93	15.73	-25.46	-5.93	5.61
	3	51.76	7.65	17.65	-51.76	-7.65	9.89
	4	17.84	5.00	14.59	-17.84	-5.00	3.41
	5	10.14	1.03	1.85	-10.14	-1.03	1.87
	6	13.93	2.99	5.38	-13.93	-2.99	5.37
	7	35.81	5.97	11.09	-35.81	-5.97	10.40
	8	8.72	1.28	2.28	-8.72	-1.28	2.32
	9	3.58	-1.67	-4.30	-3.58	1.67	-1.73
	10	6.09	0.26	-0.70	-6.09	-0.26	1.65
	11	17.78	3.46	4.62	-17.78	-3.46	7.83
	12	2.70	-0.93	-3.08	-2.70	0.93	-0.25
VIGA	13	-0.48	0.65	-4.88	0.48	4.98	0.00
	14	1.62	1.62	0.00	-1.62	4.00	-2.68
	15	1.84	2.47	-8.31	-1.84	5.03	4.46
	16	1.84	-5.03	-4.46	-1.84	12.53	-21.89
	17	0.03	3.21	0.90	-0.03	2.41	0.00
	18	1.36	0.28	0.00	-1.36	5.34	-5.70
	19	6.09	3.89	2.42	-6.09	1.73	0.00
	20	4.41	4.43	0.00	-4.41	1.19	3.64
	21	4.34	2.40	-8.31	-4.34	5.10	4.25
	22	4.34	-5.10	-4.25	-4.34	12.60	-22.30
	23	2.22	6.05	7.29	-2.22	-0.43	0.00
	24	-0.01	3.15	0.00	0.01	2.47	0.76
	25	6.39	3.58	1.73	-6.39	2.04	0.00
	26	5.40	3.63	0.00	-5.40	2.00	1.84
	27	5.14	4.09	-3.49	-5.14	3.41	4.51
	28	5.14	-3.41	-4.51	-5.14	10.91	-16.97
	29	1.68	6.87	9.14	-1.68	-1.25	0.00
	30	-0.93	2.93	0.00	0.93	2.70	0.25

- Fuerzas en diagonales

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
DIAGONALES	1	6.61	0.00	0.00	-6.61	0.00	0.00
	2	2.65	0.00	0.00	-2.65	0.00	0.00
	3	3.58	0.00	0.00	-3.58	0.00	0.00
	4	1.07	0.00	0.00	-1.07	0.00	0.00
	5	2.78	0.00	0.00	-2.78	0.00	0.00
	6	5.96	0.00	0.00	-5.96	0.00	0.00
	7	0.24	0.00	0.00	-0.24	0.00	0.00
	8	4.45	0.00	0.00	-4.45	0.00	0.00
	9	3.15	0.00	0.00	-3.15	0.00	0.00
	10	5.02	0.00	0.00	-5.02	0.00	0.00
	11	-0.74	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00
	12	4.19	0.00	0.00	-4.19	0.00	0.00

- Fuerzas en elementos de enlace

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
ENLACE	1	3.02	0.63	0.00	-3.02	0.63	0.00
	2	1.93	0.63	0.00	-1.93	0.63	0.00
	3	7.57	0.63	0.00	-7.57	0.63	0.00
	4	2.35	0.63	0.00	-2.35	0.63	0.00
	5	8.06	0.63	0.00	-8.06	0.63	0.00
	6	1.29	0.63	0.00	-1.29	0.63	0.00

5. MODELO CON ELEMENTO DE ENLACE EMPOTRADO.

Al igual que el modelo anterior y para realizar un análisis de la estructura ordenado, se numeran primero las columnas, vigas, diagonales y elementos de enlace; por este motivo la numeración de los elementos no cambia.

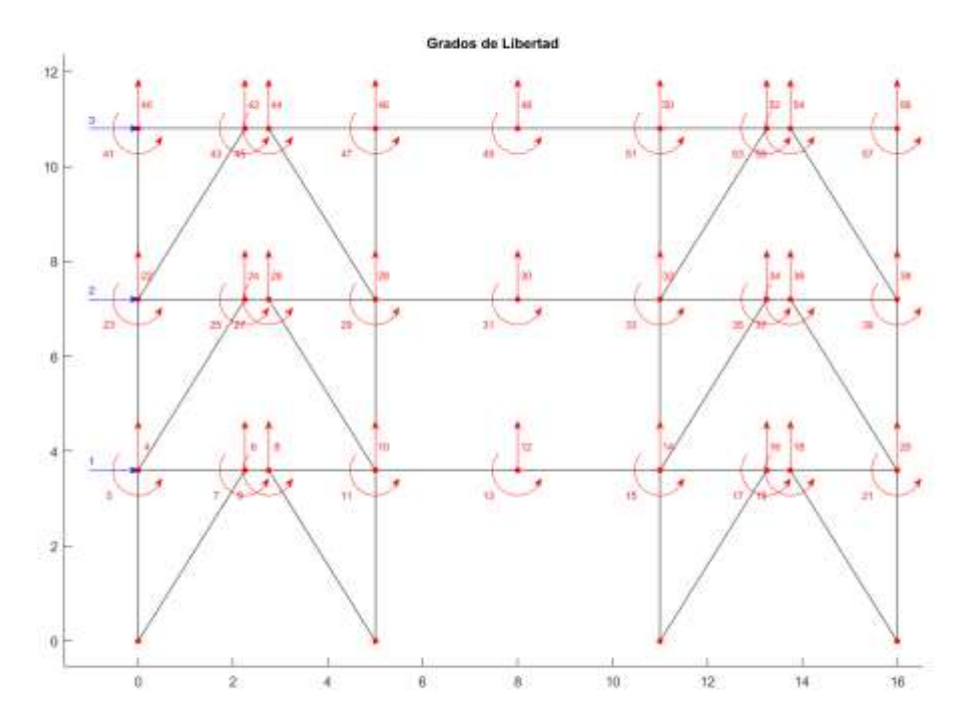


Figura 11 Pórtico con elementos de enlace articulados - articulados, numeración de grados de libertad

En este ejemplo, los elementos de enlace sí presentan grados de libertad en el momento, ya que se considera un elemento empotrado al resto de la estructura.

Para el análisis sísmico de la estructura se considerará las mismas condiciones de cargas en la estructura, dando como resultado el siguiente gráfico de derivas y desplazamientos.

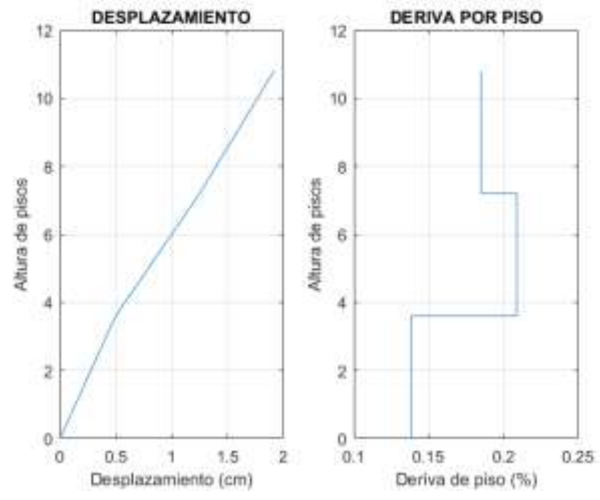


Figura 12 Derivas y desplazamientos para un pórtico con elementos de enlace empotrado – empotrado

Con estos desplazamientos se puede encontrar la carga sísmica transmitida a la estructura, esto depende de la rigidez lateral de cada pórtico.

Las fuerzas están representadas tomando en cuenta primero los pórticos en X y después los pórticos en Y. como se muestra en la siguiente imagen.

$$P = pórticos \overbrace{\begin{Bmatrix} 6.97 & 14.76 & 21.24 \\ -0.04 & 0.99 & 2.21 \\ -0.04 & 0.99 & 2.21 \\ 6.97 & 14.76 & 21.24 \end{Bmatrix}}^{pisos}$$

Con estas cargas se realizó el análisis estático de la estructura de la siguiente forma.

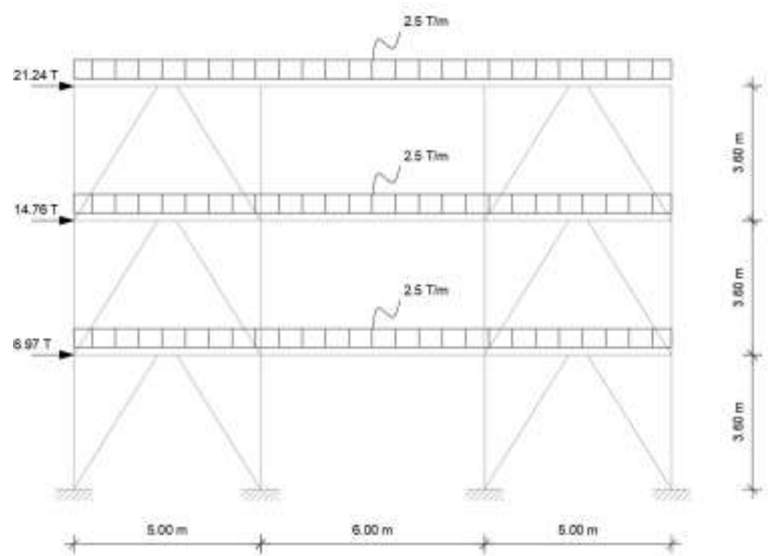


Figura 13 Cargas aplicados a los pórticos exteriores

Siguiendo la numeración de los elementos presentados en la figura 1 se presenta las siguientes tablas con las fuerzas en cada elemento.

- Fuerzas en columnas y vigas

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
COLUMNA	1	0.22	0.22	1.10	-0.22	-0.22	-0.32
	2	50.54	-0.42	0.31	-50.54	0.42	-1.83
	3	19.57	1.39	2.37	-19.57	-1.39	2.64
	4	36.02	0.28	1.12	-36.02	-0.28	-0.11
	5	5.07	-0.18	-0.25	-5.07	0.18	-0.38
	6	26.73	-1.21	-2.33	-26.73	1.21	-2.02
	7	18.81	1.81	3.38	-18.81	-1.81	3.15
	8	16.36	-0.15	-0.43	-16.36	0.15	-0.11
	9	3.46	-0.29	-0.51	-3.46	0.29	-0.54
	10	10.00	-1.31	-2.22	-10.00	1.31	-2.51

	11	13.79	1.91	3.01	-13.79	-1.91	3.85
	12	1.78	0.00	-0.26	-1.78	0.00	0.26
VIGA	13	12.35	4.39	0.58	-12.35	1.23	2.98
	14	-8.75	4.67	4.60	8.75	0.95	-0.41
	15	0.52	6.76	4.57	-0.52	0.74	4.47
	16	0.52	-0.74	-4.47	-0.52	8.24	-8.99
	17	8.96	5.34	2.97	-8.96	0.29	2.72
	18	-11.44	4.95	4.27	11.44	0.67	0.55
	19	16.26	4.18	0.89	-16.26	1.44	2.20
	20	0.42	4.17	3.46	-0.42	1.46	-0.41
	21	5.65	6.74	4.65	-5.65	0.76	4.31
	22	5.65	-0.76	-4.31	-5.65	8.26	-9.24
	23	11.17	5.44	3.08	-11.17	0.18	2.84
	24	-8.71	4.74	3.97	8.71	0.88	0.37
	25	21.53	3.46	0.54	-21.53	2.16	0.92
	26	14.58	2.54	1.76	-14.58	3.08	-2.36
	27	15.90	6.92	4.87	-15.90	0.58	4.64
	28	15.90	-0.58	-4.64	-15.90	8.08	-8.35
	29	13.99	5.71	4.51	-13.99	-0.09	2.02
	30	0.00	3.85	2.59	0.00	1.78	-0.26

- Fuerzas en diagonales

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
DIAGONALES	1	-15.70	0.00	0.00	15.70	0.00	0.00
	2	24.13	0.00	0.00	-24.13	0.00	0.00
	3	-15.42	0.00	0.00	15.42	0.00	0.00
	4	23.07	0.00	0.00	-23.07	0.00	0.00
	5	-10.90	0.00	0.00	10.90	0.00	0.00
	6	18.98	0.00	0.00	-18.98	0.00	0.00
	7	-15.12	0.00	0.00	15.12	0.00	0.00
	8	22.40	0.00	0.00	-22.40	0.00	0.00
	9	-3.04	0.00	0.00	3.04	0.00	0.00
	10	10.07	0.00	0.00	-10.07	0.00	0.00
	11	-10.24	0.00	0.00	10.24	0.00	0.00
	12	16.15	0.00	0.00	-16.15	0.00	0.00

- Fuerzas en elementos de enlace

TIPO	NÚMERO	N1	V1	M1	N2	V2	M2
ENLACE	1	4.04	-14.54	-2.98	-4.04	15.79	-4.60
	2	0.79	-13.36	-2.72	-0.79	14.61	-4.27
	3	10.48	-10.68	-2.20	-10.48	11.93	-3.46
	4	3.16	-13.00	-2.84	-3.16	14.25	-3.97
	5	19.92	-4.74	-0.92	-19.92	5.99	-1.76
	6	8.56	-8.60	-2.02	-8.56	9.85	-2.59

6. ANEXOS

6.1. Rutinas en *CEINCI-LAB* para elementos de enlace empotrados

- Matriz de rigidez lateral de la estructura

```
%% DATOS.................................................................................................
sv =[5.00 ;6.00 ;5.00]; %Ingresar un vector con la longitud de vanos en (metros)
sp =[3.60; 3.60; 3.60]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
%...................................................
Long_Enlace=0.5; % Longitud del elemento de enlace en metros
mar_Enlace=[1;3;4;6;7;9];%Número del marco en el que se desea colocar
diagonales
RES=[1 1 1 1;2 1 1 1;3 1 1 1;4 1 1 1]; %RES=[Nudo X Y Giro, ...] En X Y o Giro
colocar 1
%(restringido) o 0 (libre)

%% Rutinas para generar la geometría
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_3nudos_viga(sv,sp,mar_Enlace);
[X,Y]=glinea_portico_3nudos_viga(nv,np,sv,sp,nod,nr,Long_Enlace,mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico_3nudos_viga(nr,nv,np,nudt,nudcol,nudvg,mar_Enlace);
num_mar=length(mar_Enlace);
[NI2,NJ2]=geometria_3nudos_diagonales(nr, nv, np, nudt, mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2);
[NI,NJ,Vigas_Interme]=rutina_paso_numeracion3(NI,NJ,nv,np,nudcol,nudvg,mar_
Enlace);

% dibujo(X,Y,NI,NJ)
% dibujoplano(X,Y,NI,NJ)

%...................................................
%% Desarrollo
[CG,ngl]=cg_enlace_art_sismo(nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace) %Matriz con los
grados de libertad por nudo
[VC]=vc(NI,NJ,CG) %Vector de colocación

% dibujogdl(X,Y,NI,NJ,CG)

%...................................................
% DATOS DE SECCIONES
```

```
area1=66.60;iner1=21370;% en cm2 y cm4
area1=area1/10000;iner1=iner1/100000000; % en m2 y m4
area2=34.2;iner2=2611;% en cm2 y cm4 Elemento de Enlace
area2=area2/10000;iner2=iner2/100000000; % en m2 y m4
SeccionA=[1 area1 iner1 29 1];
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ); %long. de @elem, seno y coseno

% COLUMNAS Y VIGAS.......................................................
Es=21000000;
[ELEMA]=gelem_portico(SeccionA); %Area e Inercia
ELEMA1=ELEMA(1:30,:);
LA=L(1:30);senA=seno(1:30);cosA=coseno(1:30); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCA=VC(1:30,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=1;
[KA]=krigidez_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

% DIAGONALES ............................................................
adiag=30*30-27*27;
idiag=30^4/12-27^4/12;
adiag=adiag/10000;idiag=idiag/100000000; % en m2 y m4
Es=21000000; %T/m2
Lon1=L(31); % Longitud de una diagonal
keq1=Es*adiag/Lon1; % "k" equivalente(Kg/cm)
ELEMD=[keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1]; %4 barras con la misma
LD=L(31:42);senD=seno(31:42);cosD=coseno(31:42); %longitud, seno y coseno
de cada elemento
VCD=VC(31:42,:);%Vector de colocación de diagonales
mbr=12; %Número de miembros de acero
[KTD]=krigidez_tadas(mbr,ngl,ELEMD,senD,cosD,VCD);   %<-----MATRIZ "K"
diagonales (T/m)

% ELEMENTO DE ENLACE
SeccionD=[43 area2 iner2 5 1];
Es=21000000; %Módulo Elasticidad(kg/cm2)
[ELEME]=gelem_portico(SeccionD); %Area e Inercia
ELEME1=ELEME(43:48,:);
LE=L(43:48);senE=seno(43:48);cosE=coseno(43:48); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCE=VC(43:48,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=43;
[KEN]=krigidez_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

KTT=KA+KEN+KTD; %<------- MATRIZ "K" DE TODA LA ESTRUCTURA (T/m)

%CONDENSACION A LAS COORDENADAS "a"
na=np;                  %Coordenadas principales
```

```
kaa=KTT(1:na,1:na);
kab=KTT(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';
kbb=KTT(na+1:ngl,na+1:ngl);
T=-kbb\kba;
KL1=kaa+kab*T;
```

- Solución estática de un pórtico con elementos de enlace articulados

```
%% DATOS.........................................................................................
sv =[5.00 ;6.00 ;5.00]; %Ingresar un vector con la longitud de vanos en (metros)
sp =[3.60; 3.60; 3.60]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
%...................................................
Long_Enlace=0.5; % Longitud del elemento de enlace en metros
mar_Enlace=[1;3;4;6;7;9];%Número del marco en el que se desea colocar
diagonales
RES=[1 1 1 1;2 1 1 1;3 1 1 1;4 1 1 1]; %RES=[Nudo X Y Giro, ...] En X Y o Giro
colocar 1
%(restringido) o 0 (libre)

%% Rutinas para generar la geometría
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_3nudos_viga(sv,sp,mar_Enlace);
[X,Y]=glinea_portico_3nudos_viga(nv,np,sv,sp,nod,nr,Long_Enlace,mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico_3nudos_viga(nr,nv,np,nudt,nudcol,nudvg,mar_Enlace);
num_mar=length(mar_Enlace);
[NI2,NJ2]=geometria_3nudos_diagonales(nr, nv, np, nudt, mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2);
[NI,NJ,Vigas_Interme]=rutina_paso_numeracion3(NI,NJ,nv,np,nudcol,nudvg,mar_
Enlace);
for i=1:nr
   RES(i,:)=[i 1 1 1];
end
% dibujo(X,Y,NI,NJ)
% dibujoplano(X,Y,NI,NJ)

%...................................................
%% Desarrollo
% [CG,ngl]=cg_enlace_art_sismo(nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace); %Matriz con los
grados de libertad por nudo
[CG,ngl]=cg_enlace_art (nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace)
[VC]=vc(NI,NJ,CG); %Vector de colocación
dibujogdl(X,Y,NI,NJ,CG)

%...................................................
% DATOS DE SECCIONES
area1=66.60;iner1=21370;% en cm2 y cm4
area1=area1/10000;iner1=iner1/100000000;  % en m2 y m4
area2=34.2;iner2=2611;% en cm2 y cm4 Elemento de Enlace
area2=area2/10000;iner2=iner2/100000000;  % en m2 y m4
SeccionA=[1 area1 iner1 29 1];
```

```
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ); %long. de @elem, seno y coseno

% COLUMNAS Y VIGAS........................................................
Es=21000000;
[ELEMA]=gelem_portico(SeccionA); %Area e Inercia
ELEMA1=ELEMA(1:30,:);
LA=L(1:30);senA=seno(1:30);cosA=coseno(1:30); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCA=VC(1:30,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=1;
[KA]=krigidez_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

% DIAGONALES ............................................................
adiag=30*30-27*27;
idiag=30^4/12-27^4/12;
adiag=adiag/10000;idiag=idiag/100000000; % en m2 y m4
Es=21000000; %T/m2
Lon1=L(31); % Longitud de una diagonal
keq1=Es*adiag/Lon1; % "k" equivalente(Kg/cm)
ELEMD=[keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1]; %4 barras con la misma
LD=L(31:42);senD=seno(31:42);cosD=coseno(31:42); %longitud, seno y coseno
de cada elemento
VCD=VC(31:42,:);%Vector de colocación de diagonales
mbr=12; %Número de miembros de acero
[KTD]=krigidez_tadas(mbr,ngl,ELEMD,senD,cosD,VCD);   %<-----MATRIZ "K"
diagonales (T/m)

% ELEMENTO DE ENLACE
SeccionD=[43 area2 iner2 5 1];
Es=21000000; %Módulo Elasticidad(kg/cm2)
[ELEME]=gelem_portico(SeccionD); %Area e Inercia
ELEME1=ELEME(43:48,:);
LE=L(43:48);senE=seno(43:48);cosE=coseno(43:48); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCE=VC(43:48,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=43;
[KEN]=krigidez_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

KTT=KA+KEN+KTD; %<------- MATRIZ "K" DE TODA LA ESTRUCTURA (T/m)

% 5. Vector de Cargas Generalizadas
njc=3;nmc=24;
F=[5 4.84 0 0; 14 10.47 0 0; 23 4.72 0 0];
Fm=[13 2.5 1 2 6;
    14 2.5 1 2 6;
    15 2.5 1 2 6;
    16 2.5 1 2 6;
```

```
   17 2.5 1 2 6;
   18 2.5 1 2 6;
   43 2.5 1 5 1];
datos=0;
[Q,Q2]=cargas_arm(njc,nmc,ngl,L,seno,coseno,CG,VC,F,Fm,datos,nr,NI,NJ);
q=KTT\Q; % Solucion de ecuaciones
%6.- FUERZAS INTERNAS ELEMENTOS ACERO
Q2A=Q2(1:30,:);nmiembro=1;
[FA]=fuerzas_acero_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,21000000,q,Q2A,CG,nr
,NI,NJ,nmiembro)
%7.- FUERZAS DIAGONALES DE ACERO
Q2AA=Q2(31:42,:);Es=21000000; % En T/m2
[FD]=fuerzas_acero_tadas(ngl,ELEMD,LD,senD,cosD,VCD,Es,q,Q2AA)
%8.- FUERZAS ELEMENTO DE ENLACE
Q2EN=Q2(43:48,:);nmiembro=43;
[FEN]=fuerzas_acero_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,21000000,q,Q2EN,C
G,nr,NI,NJ,nmiembro)
```

6.2. Rutinas en *CEINCI-LAB* para elementos de enlace articulados

- Matriz de rigidez lateral de la estructura

```
%% DATOS..............................................................................................
sv =[5.00 ;6.00 ;5.00]; %Ingresar un vector con la longitud de vanos en (metros)
sp =[3.60; 3.60; 3.60]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
%..................................................
Long_Enlace=0.5; % Longitud del elemento de enlace en metros
mar_Enlace=[1;3;4;6;7;9];%Número del marco en el que se desea colocar
diagonales
RES=[1 1 1 1;2 1 1 1;3 1 1 1;4 1 1 1]; %RES=[Nudo X Y Giro, ...] En X Y o Giro
colocar 1
%(restringido) o 0 (libre)

%% Rutinas para generar la geometría
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_3nudos_viga(sv,sp,mar_Enlace);
[X,Y]=glinea_portico_3nudos_viga(nv,np,sv,sp,nod,nr,Long_Enlace,mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico_3nudos_viga(nr,nv,np,nudt,nudcol,nudvg,mar_Enlace);
num_mar=length(mar_Enlace);
[NI2,NJ2]=geometria_3nudos_diagonales(nr,  nv,  np, nudt,  mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2);
[NI,NJ,Vigas_Interme]=rutina_paso_numeracion3(NI,NJ,nv,np,nudcol,nudvg,mar_
Enlace);

% dibujo(X,Y,NI,NJ)
% dibujoplano(X,Y,NI,NJ)

%..................................................
%% Desarrollo
% [CG,ngl]=cg_enlace_art_sismo(nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace); %Matriz con los
grados de libertad por nudo
[CG,ngl]=cg_sismo2(nod,nr,Y)
```

```
[VC]=vc(NI,NJ,CG) %Vector de colocación

% dibujogdl(X,Y,NI,NJ,CG)

%..................................................
% DATOS DE SECCIONES
area1=66.60;iner1=21370;% en cm2 y cm4
area1=area1/10000;iner1=iner1/100000000; % en m2 y m4
area2=34.2;iner2=2611;% en cm2 y cm4 Elemento de Enlace
area2=area2/10000;iner2=iner2/100000000; % en m2 y m4
SeccionA=[1 area1 iner1 29 1];
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ); %long. de @elem, seno y coseno

% COLUMNAS Y VIGAS.........................................................
Es=21000000;
[ELEMA]=gelem_portico(SeccionA); %Area e Inercia
ELEMA1=ELEMA(1:30,:);
LA=L(1:30);senA=seno(1:30);cosA=coseno(1:30); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCA=VC(1:30,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=1;
[KA]=krigidez_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

% DIAGONALES ...........................................................
adiag=30*30-27*27;
idiag=30^4/12-27^4/12;
adiag=adiag/10000;idiag=idiag/100000000; % en m2 y m4
Es=21000000; %T/m2
Lon1=L(31); % Longitud de una diagonal
keq1=Es*adiag/Lon1; % "k" equivalente(Kg/cm)
ELEMD=[keq1;keq1;keq1;keq1;
      keq1;keq1;keq1;keq1;
      keq1;keq1;keq1;keq1]; %4 barras con la misma
LD=L(31:42);senD=seno(31:42);cosD=coseno(31:42); %longitud, seno y coseno de cada elemento
VCD=VC(31:42,:);%Vector de colocación de diagonales
mbr=12; %Número de miembros de acero
[KTD]=krigidez_tadas(mbr,ngl,ELEMD,senD,cosD,VCD);   %<-----MATRIZ "K" diagonales (T/m)

% ELEMENTO DE ENLACE
SeccionD=[43 area2 iner2 5 1];
Es=21000000; %Módulo Elasticidad(kg/cm2)
[ELEME]=gelem_portico(SeccionD); %Area e Inercia
ELEME1=ELEME(43:48,:);
LE=L(43:48);senE=seno(43:48);cosE=coseno(43:48); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCE=VC(43:48,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=43;
```

```
[KEN]=krigidez_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

KTT=KA+KEN+KTD; %<-------MATRIZ "K" DE TODA LA ESTRUCTURA (T/m)

%CONDENSACION A LAS COORDENADAS "a"
na=np;                %Coordenadas principales
kaa=KTT(1:na,1:na);
kab=KTT(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';
kbb=KTT(na+1:ngl,na+1:ngl);
T=-kbb\kba;
KL1=kaa+kab*T
KL4=KL1;KLA=KL1;KLD=KL1;
```

- Solución estática de un pórtico con elementos de enlace empotrados

```
%% DATOS.........................................................................................
sv =[5.00 ;6.00 ;5.00]; %Ingresar un vector con la longitud de vanos en (metros)
sp =[3.60; 3.60; 3.60]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
%..................................................
Long_Enlace=0.5; % Longitud del elemento de enlace en metros
mar_Enlace=[1;3;4;6;7;9];%Número del marco en el que se desea colocar
diagonales
RES=[1 1 1 1;2 1 1 1;3 1 1 1;4 1 1 1]; %RES=[Nudo X Y Giro, ...] En X Y o Giro
colocar 1
%(restringido) o 0 (libre)

%% Rutinas para generar la geometría
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_3nudos_viga(sv,sp,mar_Enlace);
[X,Y]=glinea_portico_3nudos_viga(nv,np,sv,sp,nod,nr,Long_Enlace,mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico_3nudos_viga(nr,nv,np,nudt,nudcol,nudvg,mar_Enlace);
num_mar=length(mar_Enlace);
[NI2,NJ2]=geometria_3nudos_diagonales(nr, nv, np, nudt, mar_Enlace);
[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2);
[NI,NJ,Vigas_Interme]=rutina_paso_numeracion3(NI,NJ,nv,np,nudcol,nudvg,mar_
Enlace);

% dibujo(X,Y,NI,NJ)
% dibujoplano(X,Y,NI,NJ)

%..................................................
%% Desarrollo
% [CG,ngl]=cg_enlace_art_sismo(nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace); %Matriz con los
grados de libertad por nudo
% [CG,ngl]=cg_enlace_art (nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace)
[CG,ngl]=cg (nod,nr,RES)
[VC]=vc(NI,NJ,CG); %Vector de colocación
dibujogdl(X,Y,NI,NJ,CG)

%..................................................
```

```
% DATOS DE SECCIONES
area1=66.60;iner1=21370;% en cm2 y cm4
area1=area1/10000;iner1=iner1/100000000; % en m2 y m4
area2=34.2;iner2=2611;% en cm2 y cm4 Elemento de Enlace
area2=area2/10000;iner2=iner2/100000000; % en m2 y m4
SeccionA=[1 area1 iner1 29 1];
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ); %long. de @elem, seno y coseno

% COLUMNAS Y VIGAS...........................................................
Es=21000000;
[ELEMA]=gelem_portico(SeccionA); %Area e Inercia
ELEMA1=ELEMA(1:30,:);
LA=L(1:30);senA=seno(1:30);cosA=coseno(1:30); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCA=VC(1:30,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=1;
[KA]=krigidez_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

% DIAGONALES .............................................................
adiag=30*30-27*27;
idiag=30^4/12-27^4/12;
adiag=adiag/10000;idiag=idiag/100000000; % en m2 y m4
Es=21000000; %T/m2
Lon1=L(31); % Longitud de una diagonal
keq1=Es*adiag/Lon1; % "k" equivalente(Kg/cm)
ELEMD=[keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1;
       keq1;keq1;keq1;keq1]; %4 barras con la misma
LD=L(31:42);senD=seno(31:42);cosD=coseno(31:42); %longitud, seno y coseno
de cada elemento
VCD=VC(31:42,:);%Vector de colocación de diagonales
mbr=12; %Número de miembros de acero
[KTD]=krigidez_tadas(mbr,ngl,ELEMD,senD,cosD,VCD);   %<-----MATRIZ "K"
diagonales (T/m)

% ELEMENTO DE ENLACE
SeccionD=[43 area2 iner2 5 1];
Es=21000000; %Módulo Elasticidad(kg/cm2)
[ELEME]=gelem_portico(SeccionD); %Area e Inercia
ELEME1=ELEME(43:48,:);
LE=L(43:48);senE=seno(43:48);cosE=coseno(43:48); %longitud, seno y coseno
%de cada elemento
VCE=VC(43:48,:);%Vector de colocación elementos con conexion de momento
nmiembro=43;
[KEN]=krigidez_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro);
%<-----MATRIZ "K" ACERO (T/m)

KTT=KA+KEN+KTD; %<-------MATRIZ "K" DE TODA LA ESTRUCTURA (T/m)

% 5. Vector de Cargas Generalizadas
```

```
njc=3;nmc=24;
F=[5 6.970 0 0; 14 14.760 0 0; 23 21.240 0 0];
Fm=[13 2.5 1 2 6;
   14 2.5 1 2 6;
   15 2.5 1 2 6;
   16 2.5 1 2 6;
   17 2.5 1 2 6;
   18 2.5 1 2 6;
   43 2.5 1 5 1];
datos=0;
[Q,Q2]=cargas_arm(njc,nmc,ngl,L,seno,coseno,CG,VC,F,Fm,datos,nr,NI,NJ);
q=KTT\Q % Solucion de ecuaciones
%6.- FUERZAS INTERNAS ELEMENTOS ACERO
Q2A=Q2(1:30,:);nmiembro=1;
[FA]=fuerzas_acero_arm(ngl,ELEMA1,LA,senA,cosA,VCA,21000000,q,Q2A,CG,nr
,NI,NJ,nmiembro)
%7.- FUERZAS DIAGONALES DE ACERO
Q2AA=Q2(31:42,:);Es=21000000; % En T/m2
[FD]=fuerzas_acero_tadas(ngl,ELEMD,LD,senD,cosD,VCD,Es,q,Q2AA)
%8.- FUERZAS ELEMENTO DE ENLACE
Q2EN=Q2(43:48,:);nmiembro=43;
[FEN]=fuerzas_acero_arm(ngl,ELEME1,LE,senE,cosE,VCE,21000000,q,Q2EN,C
G,nr,NI,NJ,nmiembro)
```

6.3. Descripción de programas en *CEINCI-LAB*

- ***cg_enlace_art***

[CG,ngl]=cg_enlace_art (nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace)

Programa que determina la matriz CG que contiene los grados de libertad en cada nudo. Para la numeración de los grados de libertad se considera solo dos grados de libertad en el elemento de enlace para simular la articulación en ese punto.

Los datos de entrada son: ***nod*** número de nudos de la estructura; ***RES*** es el vector con el número y tipo de apoyos; ***nv, np*** es el número de vanos y de pisos de la estructura; ***mar_Enlace*** es el vector con el número de vanos que contiene diagonales y elementos de enlace.

- ***geometria_3nudos_viga***

***[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_3nudos_viga(sv,sp,mar_Enlace
)***

Programa que determina las características del pórtico a generar.

Los datos de entrada son: ***sv*** vector con las longitudes de vanos; ***sp*** es el vector con las alturas de pisos; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***nudt*** es el número de elementos del pórtico; ***nudcol*** es el número de columnas del pórtico; ***nudvg*** es el número de vigas del pórtico; ***nod*** es el número de nudos de la estructura***;*** ***nr*** es el número de miembros restringidos de la estructura.

- ***glinea_portico_3nudos_viga***

[X,Y]=glinea_portico_3nudos_viga(nv,np,sv,sp,nod,nr,Long_Enlace,mar_Enlace)

Programa que determina las coordenadas de los elementos de la estructura, considerando el elemento de enlace.

Los datos de entrada son: ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***sv*** vector con las longitudes de vanos; ***sp*** es el vector con las alturas de pisos; ***nod*** es el número de nudos del pórtico; ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***Long_Enlace*** es la longitud del elemento de enlace; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***X*** es el vector con las coordenadas en X de los elementos de la estructura; ***Y*** es el vector con las coordenadas en Y de los elementos de la estructura.

- ***gn_portico_3nudos_viga***

[NI,NJ]=gn_portico_3nudos_viga(nr,nv,np,nudt,nudcol,nudvg,mar_Enlace)

Programa que determina los vectores con los nudos inicial y los nudos finales de los elementos del pórtico.

Los datos de entrada son: ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***nudt*** es el número de elementos del pórtico; ***nudcol*** es el número de columnas del pórtico; ***nudvg*** es el número de vigas del pórtico; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos: viga, columnas y elementos de enlace.

- ***geometria_3nudos_diagonales***

[NI2,NJ2]=geometria_3nudos_diagonales(nr, nv, np, nudt, mar_Enlace)

Programa que determina los vectores con los nudos inicial y los nudos finales de las diagonales del pórtico.

Los datos de entrada son: ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***nudt*** es el número de elementos del pórtico; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***NI2, NJ2*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos: diagonales.

- ***gn_portico3***

[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2)

Programa que une los vectores ***NI, NJ, NI2, NJ2*** correspondientes a los nudos inicial y final de los elementos del pórtico.

Los datos de entrada son: ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos: viga, columnas y elementos de enlace; ***NI2, NJ2*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos: diagonales.

Los datos de salida son: ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico.

- ***rutina_paso_numeracion3***

[NI,NJ,Vigas_Interme]=rutina_paso_numeracion3(NI,NJ,nv,np,nudcol,nudvg, mar_Enlace)

Programa que ordena los elementos de la estructura en el siguiente orden;

1. Columnas
2. Vigas
3. Diagonales
4. Elementos de enlace

Los datos de entrada son: ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico; ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***nudcol*** es el número de columnas del pórtico; ***nudvg*** es el número de vigas del pórtico; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico ordenados, ***Vigas_Interme*** es el vector con el número de los elementos de enlace.

- ***cg_enlace_art_sismo***

[CG,ngl]=cg_enlace_art_sismo(nod,nr,RES,nv,np,mar_Enlace)

Programa que numera los grados de libertad por nudo del pórtico considerando al elemento de enlace como articulado.

Los datos de entrada son: ***nod*** es el número de nudos del pórtico; ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***RES*** es el vector con las restricciones de los nudos en la base del pórtico; ***nv*** es el número de vanos del pórtico; ***np*** es el número de pisos del pórtico; ***mar_Enlace*** vector con el número de vano en que está presente el elemento de enlace con las diagonales.

Los datos de salida son: ***CG*** es matriz con los grados de libertad por nudo en el pórtico, ***ngl*** es el número de grados de libertad presente en el pórtico.

- ***krigidez_arm***

[K]=krigidez_arm(ngl,ELEM,LA,sen,cos,VC,Es,CG,NI,NJ,nr,nmiembro)

Programa que calcula el aporte de cada miembro a la matriz de rigidez de la estructura, considerando el tipo de apoyo que tenga:

- empotrado – empotrado
- empotrado – apoyado
- apoyado – empotrado
- apoyado - apoyado

Los datos de entrada son: ***ngl*** es el número de grados de libertad presente en el pórtico; ***ELEM*** es matriz con el área y la inercia de cada elemento; ***L*** es el vector con la longitud de cada elemento; ***sen, cos*** es el vector con el seno y el coseno de cada elemento, ***VC*** es la matriz con el vector de colocación de los elementos; ***Es*** es el módulo de elasticidad; ***CG*** es matriz con los grados de libertad por nudo en el pórtico; ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico ordenados; ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***nmiembro*** es el número de miembro desde del que comienza el conjunto de miembros a analizar

Los datos de salida son: ***K*** es el aporte de esos elementos a la matriz de rigidez de la estructura.

- ***krigidez_arm***

[Q,Q2]=cargas_arm(njc,nmc,ngl,L,seno,coseno,CG,VC,F,Fm,datos,nr,NI,NJ)

Programa que calcula los momentos y fuerzas en los apoyos de cada elemento de la estructura, y las fuerzas en los nudos; dependiendo el tipo de apoyo que tenga:

- empotrado – empotrado
- empotrado – apoyado
- apoyado – empotrado
- apoyado – apoyado

Los datos de entrada son: ***njc*** es el número de juntas cargadas; ***nmc*** es el número de miembros cargados; ***ngl*** es el número de grados de libertad presente en el pórtico; ***L*** es el vector con la longitud de cada elemento; ***seno, coseno*** es el vector con el seno y el coseno de cada elemento; ***CG*** es matriz con los grados de libertad por nudo en el pórtico; ***VC*** es la matriz con el vector de colocación de los elementos; ***F*** es el vector con las fuerzas en los nudos, ***Fm*** es la matriz con las fuerzas aplicadas en los elementos; ***datos*** es el vector con los datos de una carga diferente a rectangular o triangular; ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico ordenados

Los datos de salida son: ***Q*** es el vector con las cargas en las juntas; ***Q2*** es la matriz que contiene las fuerzas y momentos en los apoyos de los elementos de la estructura.

- ***fuerzas_acero_arm***

[FF]=fuerzas_acero_arm(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E,q,Q2,CG,nr,NI,NJ,nmiembro)

Programa que calcula los momentos y fuerzas resultantes en cada elemento de la estructura dependiendo el tipo de apoyo que tenga:

- empotrado – empotrado
- empotrado – apoyado
- apoyado – empotrado
- apoyado – apoyado

Los datos de entrada son: ***njc*** es el número de juntas cargadas; ***ELEM*** es matriz con el área y la inercia de cada elemento; ***L*** es el vector con la longitud de cada elemento; ***seno, coseno*** es el vector con el seno y el coseno de cada elemento; ***VC*** es la matriz con el vector de colocación de los elementos; ***E*** es el módulo de elasticidad; ***q*** es el vector que contiene los desplazamientos y giros en los nudos; ***Q2*** es la matriz que contiene las fuerzas y momentos en los apoyos de los elementos de la estructura; ***CG*** es matriz con los grados de libertad por nudo en el pórtico; ***nr*** es el número de miembros restringidos del pórtico; ***NI, NJ*** es el vector con el nudo inicial y final de los elementos del pórtico ordenados; ***nmiembro*** es el número de miembro desde del que comienza el conjunto de miembros a analizar.

Los datos de salida son: ***FF*** es la matriz con las fuerzas en los elementos finales.

7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Es muy buena opción diseñar estructuras de acero con elementos de enlace, para que estos trabajen como disipadores de energía. Pero para ello es fundamental la conexión de las placas de acero, con las placas de la viga, si no se colocan suficiente cantidad de pernos va a trabajar el elemento apoyado-apoyado y en este caso, no sirve como elemento disipador ya que se van a generar fuerzas de compresión en el elemento.

Si se diseña como una conexión end plane, se tendrá una buena cantidad de pernos y placas rigidizadoras, con lo cual se puede considerar al elemento de enlace como un elemento continuo de la viga y se van a generar fuerzas de corte, fundamentalmente, si se trata de un elemento corto y va a disipar energía. Por lo tanto, la conexión es fundamental para que trabaje como elemento de enlace disipador de energía.

REFERENCIAS

1. Aguiar Falconí, R. (2012). *DINÁMICA DE ESTRUCTURAS CON CEINCI-LAB.* Quito: Centro de Investigaciones Científicas.
2. Aguiar Falconí, R. (2014). *Analisis Matricial de Estructuras con CEINCI-LAB.* Quito: Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción.
3. ANSI/AISC 341-16. (2016). *Seismic Rovisions for Structural Steel Buildings.* Chicago: American Institute of Steel Construction.
4. Crisafulli, F. J. (2018). *Diseño sismoresistente de construcciones de acero.* Santiago: Asociación Latinoamericana del Acero.
5. Okazaki, T., Arce, G., Ryu, H.-C., & Engelhardt, M. (2004). Recent reserch on link performance in steel eccentrically braced frames. *13th World Conference on Earthquake Engineering*.
6. Okazaki, T., Engelhardt, M., Nakashima, M., & Suita, K. (2004). Experimental study on link - to - link colum connection in steel eccentrically braced frames. *13th World Conference on Earthquake Engineering*.